

найбільш впливає на процес зростання кількості грибів концентрація вуглекислого газу в повітрі. Математична модель після спрощення має вигляд:

$$y = 201 - 139,75x_3. \quad (17)$$

Оцінку адекватності математичної моделі (17) виконано за допомогою критерію Фішера. Математична модель адекватно описує процес.

Підсумовуючи результати аналізу впливу температури, вологості і забруднення повітря вуглекислим газом, можна зробити висновок, що найбільший вплив на процес зростання кількості пліснявих грибів має концентрація вуглекислого газу в повітрі, потім вологість і тільки потім температура. Такий висновок зроблено на основі даних експерименту.

За допомогою методу планування експерименту було одержано математичну модель (17), яка дає можливість визначити кількість грибів у 1 м<sup>3</sup> повітря при різній концентрації вуглекислого газу в повітрі. Ця модель дає достовірні результати в діапазоні змін параметрів, при яких проводився експеримент.

1.Монтгомери Д.К. Планирование эксперимента и анализ данных: Пер. с англ. – Л.: Судостроение, 1980. – 384 с.

2.Налимов В.В. Теория эксперимента. – М.: Наука, 1971 – 207 с.

3.Винарский М.С., Лурье М.В. Планирование эксперимента в технологических исследованиях. – К.: Техніка, 1975. – 167 с.

4.Хикс Ч.Р. Основные принципы планирования эксперимента. – М.: Мир, 1967. – 408 с.

*Отримано 20.09.2011*

УДК 697.7

Н.Н.БОЛОТСКИХ, канд. техн. наук

*Харьковский государственный технический университет строительства и архитектуры*

## **ОТОПЛЕНИЕ ЗДАНИЙ БОЛЬШОЙ КУБАТУРЫ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ОТКРЫТЫХ ГАЗОВЫХ ИНФРАКРАСНЫХ НАГРЕВАТЕЛЕЙ**

Описаны современные конструкции открытых газовых инфракрасных нагревателей, даны рекомендации по их дальнейшему применению для отопления зданий больших размеров.

Описано сучасні конструкції відкритих газових інфрачервоних нагрівачів, дано рекомендації з їх подальшого застосування для опалення будівель великих розмірів.

The contemporary construction of open gas infrared heaters are described. The recommendations of their further use for heating larger buildings are given.

*Ключевые слова:* инфракрасные нагреватели, интенсивность облучения, рабочая зона.

Отопление зданий больших размеров промышленного и другого назначения является достаточно сложной задачей. Такие здания обычно имеют площади пола под одной крышей, исчисляемые тысячами, а иногда и десятками тысяч квадратных метров. Их высота составляет, как минимум, 6-7 м, а средняя – 14-18 м. Ряд производственных помещений имеет высоту до 20-24 м. Кроме того, немало таких помещений имеют плохую или недостаточную теплоизоляцию. По технологическим или другим соображениям нередко в них происходит постоянный значительный обмен воздуха.

В таких помещениях рабочая зона, где обычно работают люди, имеющая высоту равную всего лишь 2 м, составляет 20-30% от их общих объемов. Именно в этих объемах помещения и следует поддерживать необходимые комфортные тепловые условия. Нагрев же в остальной части помещения (70-80%) воздуха, находящегося над рабочей зоной, не требуется. Затраты на его нагрев приходится относить к прямым потерям. Отапливать такие помещения с помощью традиционных водяных, паровых или воздушных систем сложно и малоэффективно.

Многолетний зарубежный и отечественный опыт убедительно доказал, что наиболее эффективными в зданиях большой кубатуры являются системы инфракрасного газового отопления. Принцип работы таких систем отопления основан на переносе тепловой энергии, получаемой при сгорании газа, к месту потребления с помощью электромагнитного излучения инфракрасного диапазона. Такое тепловое излучение не поглощается воздухом, поэтому энергия от системы инфракрасного обогрева быстро достигает обогреваемых поверхностей и людей в рабочей зоне отапливаемого помещения. При этом не происходит прогрев всего объема воздуха в помещении.

Инфракрасное отопление помещений большой кубатуры может осуществляться с помощью открытых либо закрытых (трубчатых) газовых нагревателей. Ниже приводится подробное описание наиболее совершенных конструкций открытых газовых инфракрасных нагревателей, результаты их экспериментальных исследований в помещении машиностроительного предприятия, а также рекомендации по их дальнейшему применению в Украине.

Расширение области применения эффективных открытых газовых инфракрасных нагревателей для отопления зданий большой кубатуры с целью ускорения решения проблемы энергосбережения в Украине.

В открытых газовых инфракрасных нагревателях газ под давлением подается через форсунку в рабочую камеру горелки, где смешивается с поступающим туда воздухом. Сгорание смеси происходит на по-

верхности излучателя, изготовленного чаще всего из керамических пластин. Для усиления обогрева над излучателем располагается отражатель, изготовленный из жаропрочной стали или алюминия. При этом отражатель может быть изолирован от потолка теплоизоляцией. Выпуском и поставкой на рынок Украины открытых газовых инфракрасных нагревателей в настоящее время занимается ряд фирм и компаний Франции, Италии, Венгрии, Америки, Германии, России и других стран.

В частности, фирма SOLARONICS (Франция) выпускает открытые газовые инфракрасные нагреватели серии SR II [1]. Их отопительная система включает в себя один или два ряда специально сконструированных керамических излучателей, которые излучают тепловую энергию при 900 °С. Фирмой SOLARONICS освоен выпуск нагревателей серии SR II двух моделей: одноступенчатые и двухступенчатые. На рис.1 приведена принципиальная схема устройства и работы открытого одноступенчатого газового инфракрасного нагревателя серии SR II.

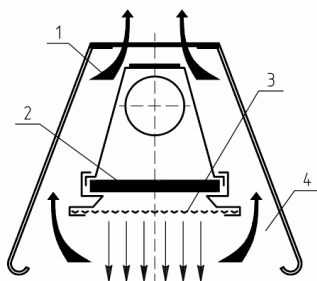


Рис.1 – Принципиальная схема устройства и работы открытого одноступенчатого газового инфракрасного нагревателя серии SR II:

1 – направление движения продуктов сгорания; 2 – керамическая плитка с большой излучательной способностью; 3 – термостойкая металлическая решетка; 4 – отражатель.

Некоторые модели нагревателя серии SR II работают не только при 100% мощности, но и с пониженной 50% мощностью. Это обстоятельство позволяет проводить более благоприятную настройку их работы с целью достижения требуемой температуры в рабочей зоне отапливаемого помещения. Нагреватели типов SR II 21, 31, 41, 61 и 81 являются одноступенчатыми. Они эксплуатируются при 100% мощности. Нагреватели типов SR II 42, 62 и 82 являются двухступенчатыми. Они имеют два ряда горелок, что позволяет их эксплуатировать при двух режимах (со 100% или 50% номинальной мощностью) (рис.2).

При необходимости в этих нагревателях может работать только один ряд керамических излучателей. В этом случае не создается излишний дискомфорт и в то же время экономится энергия. Форма двухступенчатого нагревателя, расположение излучающих керамических плиток и отражателей выбраны таким образом, чтобы площадь обогрева была одинаковой независимо от принятого режима их работы.

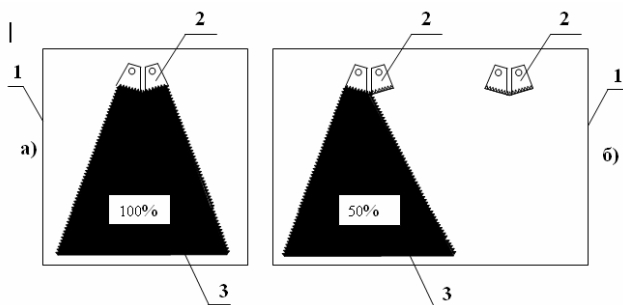


Рис.2 – Режимы эксплуатации двухступенчатых газовых инфракрасных нагревателей серии SR II при отоплении помещений с:

а – высоким теплотреблением (быстрый нагрев); б – низким теплотреблением (поддержание требуемого уровня температуры); 1 – ограждающие конструкции отапливаемого помещения; 2 – двухступенчатые инфракрасные нагреватели серии SR II; 3 – зона облучения.

Фирмой SOLARONICS выпускается 5 типов одноступенчатых нагревателей серии SR II с мощностями от 6,2 до 25,7 кВт и 3 типа двухступенчатых нагревателей с мощностями от 12,4 до 25,7 кВт. Эти нагреватели работают как на природном, так и на сжиженном газе.

Габаритные размеры и вес различных типов открытых инфракрасных нагревателей серии SR II разнятся друг от друга. Например, нагреватели типа SR II 21 имеют габаритные размеры (длина x ширина x высота) 602 x 315 x 213 мм и вес 11 кг, а нагреватель типа SR II 82 – 1140 x 435 x 213 мм и вес 22 кг.

Нагреватели серии SR II имеют КПД излучения равный 60%. Специальный отвод продуктов сгорания в этих открытых нагревателях не предусмотрен. Продукты сгорания удаляются из нагревателя самостоятельно в направлении вверх, протекая мимо камеры предварительного нагрева топлива и увеличивая этим его производительность. Их экономичность возрастает с увеличением высоты подвески до 7-12 м. Использование открытых нагревателей серии SR II для отопления зданий большой кубатуры вместо традиционных конвективно-воздушных систем позволяет существенно экономить энергоресурсы. Эти нагреватели можно использовать для зонального или локального отопления, при котором показатели экономии будут еще более благоприятными.

Компания CARLIEUKLIMA (Италия) освоила выпуск автономных открытых газовых инфракрасных нагревателей серии EUCERAMIC [2]. Конструкции этих нагревателей являются на сегодняшний день одними из наиболее совершенных. Элементами излучения у них являются аль-

веолярные керамические пластины, на которых происходит сгорание газового топлива. Поверхности этих пластин нагреваются до температуры  $900 \div 1200^{\circ}\text{C}$ . Благодаря такой высокой температуре и специальной структуре керамических пластин обеспечивается практически почти полное сгорание газовой смеси без заметных выделений  $\text{CO}$  и  $\text{NO}_x$ . Кроме того, такой способ горения обеспечивает получение большего количества тепловой энергии при соблюдении строгих норм экологической безопасности.

Модельный ряд нагревателей серии EUCERAMIC включает в себя три модели: industry HE, industry ECO и Culto.

Нагреватель модели EUCERAMIC-industry HE состоит из следующих основных частей и узлов:

- горелка из нержавеющей стали с зеркальной поверхностью;
- трубка Вентури из никелированного железа;
- излучатели, представляющие собой микро-перфорированные керамические пластины;
- механизм зажигания из легированной стали, форсунки с латунными соплами под соответствующий тип газа (природный или сжиженный);
- механизм ионизации пламени;
- газовый соленоидный клапан с двумя катушками и газовым стабилизатором;
- рефлектор из нержавеющей стали с зеркальной поверхностью или из алюминизированной стали покрытой эмалью.

Важнейшей особенностью конструкции нагревателей этой модели является наличие системы возврата (рекуперации) тепла от отработанных газов, соприкасающихся при выходе из смесительной камеры. В результате теплообмена между отработанными газами и стенкой камеры, а также между камерой и продуктами сгорания в камере обеспечивается более высокая температура, которая способствует увеличению интенсивности инфракрасного излучения.

Модельный ряд нагревателей модели EUCERAMIC-industry HE включает в себя 9 типоразмеров с тепловыми мощностями от 8,1 до 10,8 кВт. Их длина лежит в пределах от 580 до 1680 мм, а ширина – от 475 до 713 мм. Высота нагревателей составляет 380 мм. Их вес лежит в пределах от 11 до 43 кг.

Нагреватели модели EUCERAMIC-industry ECO имеют высокую конкурентоспособность вследствие оптимального соотношения «цена-качество», достигнутых за счет некоторых изменений в их производстве при сохранении всех качественных характеристик. Модельный ряд таких нагревателей включает в себя 9 типоразмеров с мощностями от 8,1

до 10,8 кВт. Их длина лежит в пределах от 580 до 1680 мм, а ширина – от 378 до 615 мм. Высота таких нагревателей составляет 265 мм, их вес лежит в пределах от 7 до 30 кг.

Нагреватели модели EUCERAMIC-Culto компактны и практичны в эксплуатации. Они имеют широкую цветовую гамму. Благодаря такому дизайну их используют для отопления преимущественно в помещениях, где важен внешний вид приборов. Модельный ряд этих нагревателей включает в себя четыре типоразмера с мощностями от 8,1 до 22,7 кВт. Их длина находится в пределах от 631 до 1368 мм, а ширина составляет 235 мм и высота – 245 мм. Их вес лежит в пределах от 10 до 17 кг.

Фирмой FRACCARO (Италия) выпускаются открытые инфракрасные нагреватели серии SUNRAD для отопления высоких помещений с большими теплопотерями. Эти нагреватели характеризуются высокой интенсивностью излучения. Их конструкции включают в себя теплоизлучающий блок (керамическая пластина с отверстиями, на которой формируется слой пламени), блок управления, электроды розжига и ионизации, датчик наличия пламени и отражатель из зеркально полированного ферана, который направляет концентрированно лучистое тепло в рабочую зону отапливаемого помещения. Нагреватели серии SUNRAD выпускаются четырех моделей: IEM 10A, IEM 20A, IEM 30A и IEM 40A. Их тепловые мощности лежат в пределах от 7 до 40 кВт, а вес – от 12 до 34 кг. Коэффициент полезного действия этих нагревателей равен 96%. Нагреватели серии SUNRAD могут устанавливаться на значительных высотах (до 30 м).

Фирма PAKOLE (Венгрия) освоила выпуск открытых газовых инфракрасных нагревателей серии GH двух вариантов. Вариант «А» имеет одну смесительную камеру, а вариант «В» – две смесительные камеры. Вариант «В» оснащен двухступенчатой системой поджига и регулировки. Модельный ряд нагревателей варианта «А» включает в себя шесть типоразмеров с полезными мощностями от 1 до 11 кВт и весом – от 0,9 до 12,1 кг, а варианта «В» – три типоразмера с полезными мощностями от 18,2 до 36,4 кВт и весом – от 16,1 до 28,2 кг.

Компания DETROIT RADIANT PRODUCT (США) выпускает открытые газовые инфракрасные нагреватели серии DR. Эти нагреватели очень экономичны. Их мощности лежат в пределах от 1,8 до 34,2 кВт.

Фирма GoGAS (Германия) выпускает двухступенчатые открытые газовые инфракрасные нагреватели серии KB. Их модельный ряд включает в себя 16 типоразмеров с мощностями, лежащими в пределах от 6 до 36 кВт. Их вес составляет 11÷35 кг.

Российско-германское предприятие ОАО «Сибшванк» (Россия, г.Тюмень) выпускает открытые инфракрасные нагреватели серии ГИИ четырех типоразмеров с мощностями от 5 до 30 кВт. Их вес лежит в пределах от 5 до 36 кг.

Основными достоинствами описанных выше открытых газовых инфракрасных нагревателей являются следующие:

- возможность отопления помещений большой кубатуры с высокими потолками и плохой теплоизоляцией;
- возможность обогрева только нижней зоны помещения;
- возможность локального обогрева;
- быстрый монтаж, демонтаж, перенос и т.д.;
- безинерционность (быстрые включение, разогрев и выход на заданную мощность);
- бесшумная работа;
- автоматическая работа и возможность регулирования отопления по времени, мощности и температуре;
- нагреватели при их включении в работу не вызывают заметных перемещений воздушных масс и циркуляции пыли в отапливаемом помещении;
- отсутствие образования конденсата при их работе на ограждающих конструкциях помещения;
- надежность (потребность в техобслуживании практически отсутствует);
- длительный срок службы;
- большая тепловая производительность при малых размерах нагревателей;
- широкий модельный ряд нагревателей для удовлетворения различных потребностей;
- универсальность (нагреватели могут подвешиваться в помещениях любых типов, крепиться к потолку или стенам);
- презентабельный дизайн;
- низкие капитальные затраты;
- возможность создания комфортных условий в рабочей зоне помещения при минимальных расходах газа;
- экономичность (возможность снижения энергозатрат на отопление до 40-60%).

Вместе с тем открытые газовые инфракрасные нагреватели имеют ряд недостатков:

- относительная пожароопасность;

– выжигание кислорода и высушивание воздуха во внутренней части отопляемого помещения, что вызывает необходимость постоянного обеспечения естественного либо искусственного воздухообмена (необходимо удалять из помещения не менее  $10 \text{ м}^3$  воздуха в час на каждый кВт установленной мощности используемых для отопления открытых инфракрасных нагревателей).

Несмотря на эти недостатки открытые газовые инфракрасные нагреватели в последнее время получают все большее распространение в различных странах мира, в том числе и в Украине.

Из приведенных выше сведений видно, что ведущими мировыми фирмами и компаниями в настоящее время выпускается такое количество различных конструкций, моделей и типоразмеров открытых газовых инфракрасных нагревателей, которых вполне достаточно для отопления практически любых зданий большой кубатуры промышленного и другого назначения.

С учетом этого обстоятельства при проектировании систем инфракрасного отопления с использованием открытых газовых нагревателей необходимо тщательно подходить к их выбору и расчету, внимательно учитывая все специфические особенности конкретных, подлежащих отоплению, зданий большой кубатуры. При этом особое внимание должно быть уделено обязательному выполнению следующих двух условий:

1) соблюдение всех требований действующих в Украине нормативных документов, касающихся инфракрасного газового отопления, особенно требований ГОСТа 12.1.005-88 «Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны» [3];

2) обеспечение комфортных условий в рабочей зоне отопляемого помещения при минимальных расходах газа.

ГОСТом 12.1.005-88 в качестве показателей, характеризующих микроклимат в производственных помещениях, утверждены следующие: температура воздуха; относительная влажность воздуха; скорость движения воздуха и интенсивность теплового облучения. Величины допустимых значений этих всех показателей указаны в ГОСТе [3].

К сожалению, при проектировании и эксплуатации систем отопления с использованием открытых инфракрасных нагревателей не всегда уделяется должное внимание поддержанию интенсивности облучения в рабочей зоне в пределах допустимых значений. Необходимо всегда помнить, что благоприятное воздействие инфракрасного облучения на человека сказывается только в том случае, если облученность на его рабочем месте не превышает допустимых норм. При продолжительном интенсивном облучении может ухудшиться его самочувствие (головные



боли, нарушение сна, снижение работоспособности и его иммунологической реактивности). Поэтому всегда должно соблюдаться условие

$$q_{\text{сум}}^{\text{max}} \leq [q], \quad (1)$$

где  $q_{\text{сум}}^{\text{max}}$  – максимальная суммарная интенсивность облучения в рабочей зоне помещения, Вт/м<sup>2</sup>;  $[q]$  – допустимая интенсивность облучения в рабочей зоне помещения, отапливаемого инфракрасным способом, Вт/м<sup>2</sup>.

Значения интенсивности облучения в любой точке рабочей зоны помещения, отапливаемого открытыми инфракрасными нагревателями, могут быть определены расчетным путем либо путем замеров непосредственно на конкретных объектах отопления. На рис.3 приведена расчетная схема для определения интенсивности облучения головы человека, находящегося в рабочей зоне помещения, отапливаемого одним открытым горизонтально подвешенным инфракрасным нагревателем.

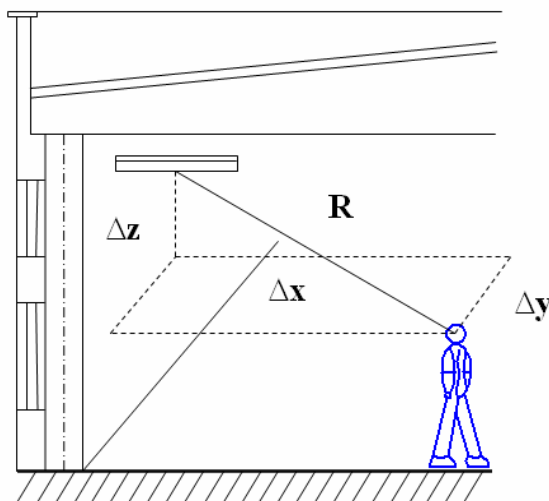


Рис.3 – Расчетная схема для определения интенсивности облучения

На этом рисунке приняты следующие обозначения:  $R$  – расстояние от центра нагревателя до головы человека, м;  $\Delta x$ ,  $\Delta y$  и  $\Delta z$  – разности соответствующих координат центров площадок открытого инфракрасного нагревателя и головы человека, м. Интенсивность облучения головы человека в данном случае может быть подсчитана по формуле [5, 6]

$$q = \frac{1,8\Delta x^2 F}{R^4} \left[ \left( \frac{273 + t_1}{100} \right)^4 - 92 \right], \quad (2)$$

где  $F$  – площадь поверхности излучения открытого нагревателя, м<sup>2</sup>;  $t_1$  – температура излучающей поверхности нагревателя, °С.

При наличии в системе отопления нескольких горизонтальных открытых инфракрасных нагревателей интенсивность облучения головы человека, находящегося в рабочей зоне, рассчитывается по формуле (2) отдельно от каждого нагревателя, а затем с использованием метода суперпозиции эти полученные значения суммируются. Именно это максимальное суммарное значение интенсивности облучения и не должно превышать допустимое ГОСТом 12.1.005-88.

С целью проверки характера изменения параметров микроклимата в производственных помещениях, отапливаемых открытыми газовыми инфракрасными нагревателями, ХГТУСА в течение ряда лет проводит экспериментальные исследования непосредственно в натурных условиях. В частности, достаточно обширные исследования проведены на участке покраски слесарно-сборочного цеха Харьковского машиностроительного завода «Свет шахтера». Для отопления этого участка используется шесть открытых газовых инфракрасных нагревателей серии ГИИ мощностью 30 кВт каждый (рис.4).

Стены этого цеха довоенной постройки сооружены из кирпича и имеют толщину 25 см. Снаружи они облицованы металлическим профлистом со слоем изоляции. Кровля цеха находится на высоте 10 м. В кровле равномерно по всему цеху расположены фонари размером 3х4 м. На расстоянии 5 м от наружной стены на высоте 9 м подвешены два открытых нагревателя. Расстояние между ними составляет 10 м. По ширине участка покраски подвешены еще два ряда таких же нагревателей.

При проведении экспериментов температура наружного воздуха составляла минус 5 °С. Эксперименты проводились как при одном включенном нагревателе, так и при нескольких последовательно подключаемых нагревателях. Для измерения интенсивности облучения использовался радиометр переносной РАТ-2П-Кварц-41 (погрешность – не более ±6%). Температура воздуха измерялась с помощью термометра технического жидкостного ТТЖ-М (погрешность не более ±0,3 °С), а относительная влажность воздуха в помещении – с помощью переносного психрометра механического МВ-4-2м (погрешность составляет ±0,5%). Скорость движения воздуха в помещении измерялась с помощью переносного кататермометра АГП-01 (погрешность – ± 0,007 м/с).

В результате обработки полученных результатов экспериментов установлено, что температура воздуха в рабочей зоне помещения на расстояниях от пола 1,5 и 2 м практически почти стабильна (рис.5).

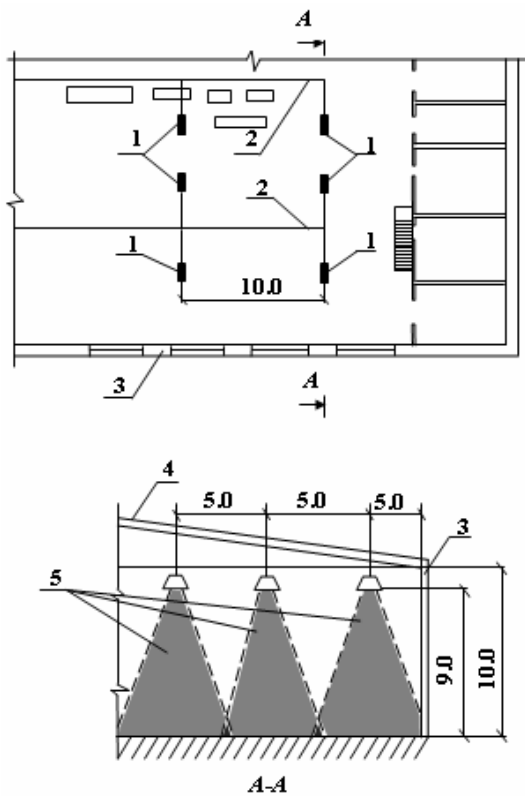


Рис.4 – Схема размещения открытых газовых инфракрасных нагревателей серии ГИИ на участке покраски слесарно-сборочного цеха Харьковского машиностроительного завода «Свет шахтера»:

1 – открытые инфракрасные нагреватели; 2 – трубопроводы для подвода газа к нагревателям; 3 – стена цеха; 4 – кровля цеха; 5 – зоны облучения.

Между двумя нагревателями по оси их подвески на расстоянии 5 м на высотах 1,5 и 2 м от пола температура воздуха отличается всего лишь на 1,5°C. ГОСТом 12.1.005-88 допускаются колебания температуры по горизонтали в рабочей зоне в течение смены до 5°C при работах средней тяжести. Таким образом, при использовании открытых инфракрасных нагревателей колебания температуры в рабочей зоне существенно ниже допустимых ГОСТом. Кроме того, фактические значения

температуры воздуха в рабочей зоне находятся в оптимальных пределах, предусмотренных ГОСТом 12.1.005-88 для холодного периода года и категории выполняемых работ средней тяжести.

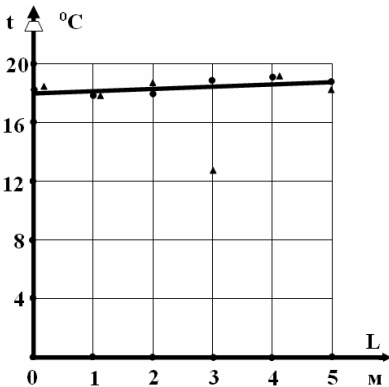


Рис.5 – Экспериментальный график распределения температуры воздуха ( $t$ ) в рабочей зоне вдоль оси подвески открытых инфракрасных нагревателей на расстояниях от пола:  
● – 1,5 м и ▲ – 2 м.

В период проведения экспериментов среднее значение относительной влажности воздуха в цехе составляло 75%, а скорость движения воздуха в рабочей зоне на высоте 1,5 м от пола находилась в пределах от 0,05 до 0,065 м/с. Эти фактические значения относительной влажности и скорости движения воздуха находятся также в пределах допустимых ГОСТ12.1.005-88 величин.

Интенсивность облучения в рабочей зоне на расстоянии 1,5 м от пола первоначально измерялась при работе отдельных нагревателей, расположенных по сечению А-А (рис.4). По данным этих экспериментов строились графики распределения интенсивности облучения 1, 2 и 3, которые на рис.6 показаны пунктиром. Затем с использованием метода суперпозиции была построена эпюра суммарной интенсивности облучения (рис.6, кривая 4). Для проверки правильности построения этой эпюры были произведены дополнительные замеры интенсивности облучения в рабочей зоне при одновременной работе всех инфракрасных нагревателей.

Анализ полученных таким образом графиков и эпюры показывает, что максимальная суммарная интенсивность облучения на участке покраски слесарно-сборочного цеха находится ниже допустимых ГОСТом 12.1.005-88 значений, т.е. соблюдается условие (1). Кроме того, установлена удовлетворительная сходимость экспериментальных значений интенсивности облучения с результатами соответствующих расчетов по формуле (2).

Представляет также интерес оценить равномерность распределения интенсивности облучения в рабочей зоне отопляемого помещения. Медико-биологическими исследованиями ряда авторов установлено, что у человека не возникает неприятных ощущений и его организм практически не реагирует при 10%-ном отклонении интенсивности облучения от ее среднего значения.

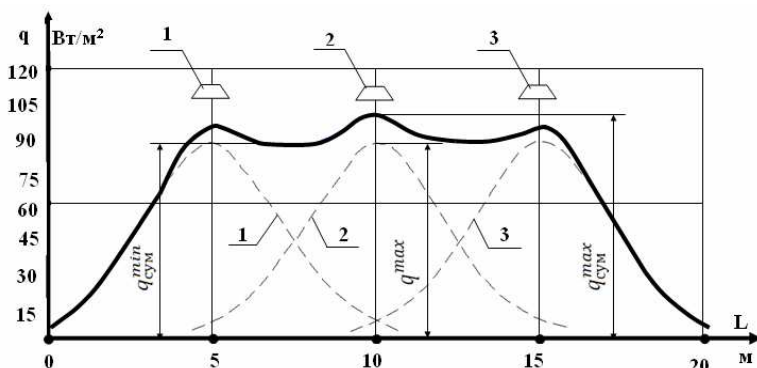


Рис. 6 – Эпюры суммарной интенсивности облучения в рабочей зоне на расстоянии 1,5 м от пола в сечении А-А (рис.4):  
1,2,3 – распределение интенсивности облучения от единичных нагревателей (1, 2 и 3);  
4 – эпюра суммарной интенсивности облучения.

Неравномерность облучения в рабочей зоне определяется по формуле

$$S = (q_{\text{сум}}^{\text{max}} - q_{\text{сум}}^{\text{min}}) / q_{\text{сум}}^{\text{cp}} \cdot 100\% , \quad (3)$$

где  $S$  – неравномерность облучения, %;  $q_{\text{сум}}^{\text{max}}$ ,  $q_{\text{сум}}^{\text{min}}$ ,  $q_{\text{сум}}^{\text{cp}}$  – соответственно, максимальная, минимальная и средняя суммарная интенсивность облучения, Вт/м<sup>2</sup>.

После обработки результатов проведенных экспериментов были получены следующие показатели: максимальная суммарная интенсивность облучения ( $q_{\text{сум}}^{\text{max}}$ ) равна 97 Вт/м<sup>2</sup>, минимальная ( $q_{\text{сум}}^{\text{min}}$ ) – 88 Вт/м<sup>2</sup> и средняя ( $q_{\text{сум}}^{\text{cp}}$ ) – 92,5 Вт/м<sup>2</sup>.

При таких показателях фактическая неравномерность облучения в рабочей зоне на расстояниях 1,5 м от пола между вертикальными осями подвески открытых инфракрасных нагревателей составила

$$S = (97 - 88) / 92,5 \cdot 100\% = 9,7\% ,$$

т.е. и этот показатель находится в пределах научно обоснованных рекомендаций.

Таким образом, использование открытых газовых инфракрасных нагревателей для отопления зданий большой кубатуры является одним из эффективных и перспективных направлений решения проблемы экономики энергоресурсов.

Ведущими зарубежными фирмами и компаниями в настоящее время выпускается достаточное количество открытых инфракрасных газовых нагревателей различных конструкций, моделей и типоразмеров для обеспечения эффективного отопления практически любых зданий большой кубатуры промышленного и другого назначения.

Проведенные в промышленных условиях экспериментальные исследования подтвердили то, что с использованием открытых газовых инфракрасных нагревателей для отопления помещений большой кубатуры можно обеспечивать параметры микроклимата в рабочей зоне, соответствующие требованиям ГОСТа 12.1.005-88.

Для достижения комфортного микроклимата в рабочей зоне при минимальных расходах газа целесообразно тщательно подходить к выбору и расчету систем отопления с помощью открытых инфракрасных нагревателей. При этом целесообразно использовать методику расчета и компьютерные программы, разработанные Уральским государственным техническим университетом [5, 6], а также алгоритм методики расчета, разработанной в ХГТУСА [4].

1. Инфракрасные газовые излучатели. Руководство по монтажу и эксплуатации. – Ужгород: ООО «Ленко-Украина», 2004. – 31 с.

2. Газовые инфракрасные излучатели EUCERAMIC. CARLIEUKLIMA, Италия, [www. Energopolis.dp.ua](http://www.Energopolis.dp.ua), 2011. – 9 с.

3. ГОСТ 12.1.005-88. Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны. Система стандартов безопасности труда. Государственный стандарт СССР, 1988 (переиздан в мае 1991 г.).

4. Болотских Н.Н. Совершенствование методики расчета систем отопления газовыми трубчатыми инфракрасными нагревателями // Науковий вісник будівництва. Вип.54. – Харків: ХДТУБА, ХОТВ АБУ, 2009. – С.76-91.

5. Шумилов Р.Н., Толстова Ю.А., Помер А.А. Совершенствование методики расчета лучистого отопления // Материалы междунар. науч.-техн. конф. «Теоретические основы теплогазоснабжения и вентиляции». – М.: МГСУ, 2005. – С.107-112.

6. Науменко А.В., Кузнецов П.В., Толстова Ю.И., Шумилов Р.Н. Энергоэффективные системы отопления. – Екатеринбург: УГТУ-УПИ, 2003. – 107 с.

*Получено 17.06.2011*